

딥러닝 기술을 활용한 배전 분야의 부분 방전 진단 기술에 관한 연구

김진석, 이성호, 공재준
한전 KDN(주) 전력 ICT 연구원

kim-668069@kdn.com, letitbe_953387@kdn.com, kjj-953387@kdn.com

A Study on the Diagnosis of Partial Discharge using Deep Learning Model in the Power Distribution Grid

Kim Jin Seok, Lee Sung Ho, Kong Jae Joon
KEPCO KDN Electric Power IT Research Institute

요 약

배전 전력 설비의 노후화에 따른 사고 예방 및 복구 비용이 증가하고, 이들 설비들의 효율적인 관리가 필요하다. 최근에 이러한 점들을 고려하여 딥 러닝 기술을 통해 부분 방전 진단을 자동으로 진단할 수 있는 연구가 활발하다. 따라서 본 논문에서는 딥러닝 기술을 활용하여 배전 분야의 부분 방전을 진단하는 연구와 배전 망의 부분 방전 진단 이슈 사항에 대해 언급하고, 이에 대한 대책을 제시하여 궁극적으로 배전 설비의 안전성 향상과 효율적인 운영에 기여하고자 한다.

I. 서 론

배전 전력 설비 노후화에 따른 사고 예방 비용, 사고 복구 비용이 날로 증가하고 있다. 그리고 노후화 설비 증가에 따른 효율적인 관리 체계가 필요하다. 또한 설비 수명 종점까지 운영하여 설비 투자 가치를 최대화할 필요가 있고, 부분 방전 진단 관리를 통해 불량 기기의 안전사고를 예방할 필요가 있다. 현재 이러한 점들은 부분 방전 진단을 통해 상기 언급된 문제들을 해결해 나가고 있다. 배전 분야의 기존 부분 방전 진단 방식은 크게 Tan delta 진단 방식과 VLF PD 진단 방식을 통해 사전 상태에서 부분 방전 진단을 할 수 있다. 하지만 이러한 진단 방식은 사람이 개입하여 진단을 하다 보니 부분 방전 전문가가 아니면 진단이 일률적이지 않을 수 있고, 활선 상태에서 진단을 할 수 있는 부분 방전 시스템 자동화가 이루어지지 않아 진단이 느릴 수 있다.

최근에 진단 분야에 딥 러닝 기술을 활용하여 부분 방전 진단 분야에 괄목할만한 결과를 내고 있다[1]. 이러한 점을 고려하여 전력 배전 분야에도 데이터 기반 학습 모델인 딥 러닝 기술을 통해 부분 방전 진단을 사람의 개입 없이, 활선 상태에서 자동으로 부분 방전을 판단 및 종류를 분류할 수 있는 기술 연구가 필요하다. 이에 본 논문에서는 사람 개입이 최소화되면서 데이터 학습 기반의 딥러닝 기술을 활용하여 부분 방전을 진단할 수 있는 딥러닝 기술에 대한 소개와 배전 전력 망의 부분 방전 진단 이슈 사항과 대책을 언급하고 결론을 맺는다.

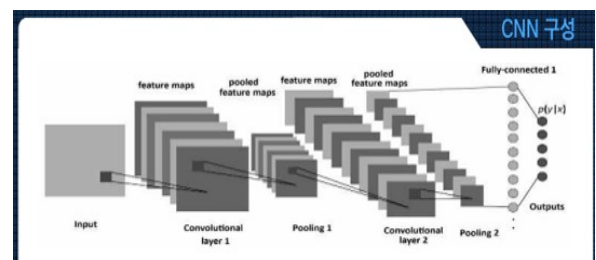
II. 본론

기본적으로 딥 러닝 모델은 데이터 기반 학습 모델이기 때문에 부분 방전을 판단하기 위해서는 부분 방전 입력 데이터가 필요하다. 통상적으로 입력 데이터로는 기준 위상 대비 부분 방전 신호의 분포 패턴

형태의 phase-resolved partial discharge (PRPD) 데이터를 입력 데이터로 많이 활용하고 있다.

최근에 부분 방전 진단에 활용된 딥 러닝 모델은 크게 4 가지 모델로 요약할 수 있다. 첫 번째는 이미지 인식 기술로 널리 알려진 convolutional neural network (CNN) 모델이 있고, 시계열 데이터를 다루는 데 활용되는 long short-term memory (LSTM) 모델이 있다. 세번째 모델로는 비지도 학습 (unsupervised learning) 모델인 autoencoder 가 있고, 마찬가지로 비지도 학습 모델인 generative adversarial networks (GAN) 모델이 부분 방전 진단 기술에 활용되고 있다.

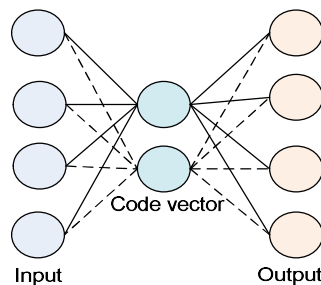
그림 1 에서 보는 바와 같이, CNN 모델은 이미지 인식 딥러닝 모델로 입력 데이터인 PRPD 데이터를 이용하여 수치화된 부분 방전 이미지 패턴 입력 데이터로 변환하여 모델에 적용한다[2]. 최종적으로 이미지 형태로 부분 방전을 판단 및 분류를 할 수 있다. CNN 모델과 다른 딥 러닝 모델과의 결합 모델도 제시되고 있다. 한가지 사례로 CNN 하이브리드 모델로 부분 방전 신호를 분해하여 각 CNN 모델의 입력 데이터로 적용하고 최종적으로 LSTM 모델로 부분 방전 종류를 분류하는 모델도 있다[1].



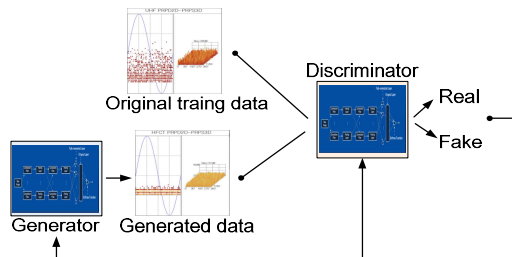
<그림 1. CNN 아키텍처 예시>

시계열 딥 러닝 모델인 LSTM 모델 또한 부분 방전 패턴을 분류하는데 활용할 수 있는데, PRPD 데이터를 시계열 (time-series) 데이터 형태로 입력하여 최종으로 부분 방전을 분류하는 것이다. LSTM 하이브리드 모델로는 여러 부분 방전 취득 센서를 통해 취득한 부분 방전 입력 데이터를 활용한 CNN-LSTM 모델을 제시한 사례도 있다[1].

비지도 학습 모델인 Autoencoder 모델도 부분 방전의 판단 및 분류에 활용될 수 있다. 그림 2 에서 보는 바와 같이, 부분 방전 판단의 예로 부분 방전이 없는 정상 입력 데이터에 대한 특징 벡터(Code vector)와 부분 방전이 있는 이상치 입력 데이터에 대한 특징 벡터가 다르다면 부분 방전 이상치를 탐지할 수 있다. 출력 단계에 확률적 분류기(Softmax classifier)를 활용하면 부분 방전을 분류할 수도 있다[3].



<그림 2. Autoencoder 아키텍처 예시>



<그림 3. GAN을 활용한 부분 방전 데이터 증식 예시>

마지막으로 GAN 모델을 활용하여 부분 방전의 입력 데이터를 증식 (Augmentation) 할 수 있다. 그림 3 은 GAN 모델을 활용하여 부분 방전 데이터를 증식하는 사례를 보여주고 있다. 생성 모델 (Generator)에서 가짜 부분 방전 데이터를 생성하여 판별 모델 (Discriminator)에 입력하고, 반복적인 학습을 통하여 판별 모델과 생성 모델이 서로를 적대적인 경쟁자로 인식 및 발전하여 결과적으로는 판별 모델이 진짜 데이터와 가짜 데이터를 구분할 수 없을 정도의 데이터가 생성되게 된다. 이때 생성된 가짜 데이터를 부분 방전 입력 데이터로 활용할 수 있게 된다. GAN 을 활용하여 부분 방전 데이터를 증식한 사례가 있다[4].

전력 배전 분야에서 딥 러닝 기술을 활용하여 부분 방전을 진단하게 되면 크게 두 가지 제약사항이 존재할 수 있다. 첫 번째로 부분 방전이라고 판정된 실제 데이터가 부족하다. 또한 부분 방전 분류를 함에 있어 부분 방전 종류별 샘플 수에서도 현격한 차이가 있어, 이러한 점들이 딥 러닝 모델의 정밀도 및 정확도를 높이는 데 한계가 존재할 수 있다. 이에 대한 방안으로 GAN 을 활용하여 유사도 기반 데이터를 증식할 수도

있고, IEC60270 기반 부분 방전 발생 시스템을 활용하여 모의 환경에서 부분 방전 데이터를 추가로 확보할 수도 있다[2].

두 번째 제약 사항으로는 배전 전력 망에서 신뢰성 있는 데이터 확보가 쉽지 않다는 것이다. 기본적으로 배전 변압기/개폐기, 맨홀의 위치가 일정 간격으로 존재하지 않고 산재해 있어 데이터 취득이 어렵다는 점이다. 또한 경제성을 고려하여 데이터를 무선을 취득하게 되면 그에 따른 노이즈 증가, 데이터 손실 또는 PRPD 기준 위상 대비 부분 방전 신호 위상의 변화가 생겨 딥 러닝 모델이 판단 및 분류 정확도가 떨어질 수 있다. 이에 대한 방안으로는 손실이 적은 데이터 확보를 위해 무선 전송 경로 자가 구성 기술인 Ad-hoc 기술[5]을 활용하여 고정된 망을 유지하지 않고, 가장 빠른 망을 구성할 수 있다. 또한 신호 처리 기술을 통한 수신된 부분 방전 신호의 변형을 최소화하는 방법도 고려할 수 있다. 즉 노이즈 제거 기술 또는 부분 방전 신호 위상 보정 기술 등을 적용하는 방법이 있다.

향후 배전 설비의 효율적인 관리 체계 정비 및 설비 수명을 최대화하기 위해 부분 방전 기술의 수요가 증가할 것으로 예상된다. 따라서 딥 러닝 기술 기반으로 한 부분 방전 진단 기술 연구 성과는 사람의 개입 없이, 활선 상태에서 자동으로 부분 방전을 진단하여 배전 전력 설비의 안전성과 경제성을 향상시키는데 기여할 수 있다고 판단된다.

III. 결론

본 논문에서는 부분 방전을 진단할 수 있는 딥 러닝 기술에 대한 소개하였다. 크게 4 가지 딥 러닝 모델이 부분 방전 진단 기술에 활용되었고, 현재 배전 전력 망의 부분 방전 진단 이슈 사항에 대해 언급하였다. 향후 딥 러닝 기반 부분 방전 진단 기술을 활용하여 배전 전력 설비의 안전성 향상과 효율적인 설비 운영으로 경제성 또한 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] S. Barrios et al., "Partial discharge classification using deep learning methods-survey of recent progress," *Energies*, Vol. 12, 2019.
- [2] X. Peng et al., "A convolutional neural network-based deep learning methodology for recognition of partial discharge patterns from high-voltage cables," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.34, pp. 1460- 1469, 2019.
- [3] L. Duan et al., "Identification of partial discharge defects based on deep learning method," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.34, pp. 1557-1568, 2019.
- [4] Y. Wu et al., "Partial discharge data augmentation of high voltage cables based on the variable noise superposition and generative adversarial network," *In Proceedings of the 2018 International Conference on Power System Technology (POWERCON), Guangzhou, China*, pp. 3855- 3859, 2018.
- [5] B. Kim et al., "Dynamic timer based on expected link duration in mobile ad hoc networks," *Proceedings - 2019 IEEE 16th international conference on mobile ad hoc and smart systems workshops*, pp. 158-159, 2019.